

创新设计：适用范围广泛的高效数码直喷印花机研发与实践

章福松 赵国军

绍兴恒利印染有限公司 312030

【摘要】本文以数码直喷印花机为研究对象，深入探讨了创新设计在设备研发与实践过程中的核心作用与重要价值。在全球制造业加速向智能化、绿色化转型的大背景下，数码直喷印花技术以其个性化定制、高效生产、环保节能等优势，正逐步取代传统的筛网印花技术，成为纺织、陶瓷、皮革等多个行业领域的新宠。本研究通过模块化架构设计、多材料适应性优化策略及智能喷墨算法的开发应用，成功打破了现有设备的技术瓶颈，实现了数码直喷印花机在跨行业应用中的全面升级。大量研究数据表明，新型数码直喷印花机的生产效率相较于传统设备提升了40%以上，墨水利用率高达95%，不仅在技术上取得了重大突破，更在市场占有率上展现出强劲的增长势头，预计在2025年将达到18.7%。本文将结合详细的技术经济分析与多个典型案例，深入剖析创新设计在推动数码直喷印花机发展中的关键作用，为智能制造装备的创新发展提供坚实的理论依据与实践参考。

【关键词】数码直喷印花；创新设计；多材料适配；智能控制系统；绿色制造

Innovative design: applicable to a wide range of efficient digital direct injection printing machine research and development and practice

Zhang Fusong Zhao Guojun

Shaoxing Hengli Printing and dyeing Co., LTD. 312030

【Abstract】 Taking the digital direct injection printing machine as the research object, this paper deeply discusses the core role and important value of innovative design in the process of equipment development and practice. In the context of the accelerated transformation of the global manufacturing industry to intelligent and green, digital direct spray printing technology, with its advantages of personalized customization, efficient production, environmental protection and energy saving, is gradually replacing the traditional screen printing technology, becoming a new favorite in textile, ceramic, leather and other industries. Through the development and application of modular architecture design, multi-material adaptive optimization strategy and intelligent inkjet algorithm, this study successfully broke the technical bottleneck of existing equipment, and realized the comprehensive upgrade of digital direct jet printing machine in cross-industry application. A large number of research data show that the production efficiency of the new digital direct injection printing machine has increased by more than 40% compared with the traditional equipment, and the ink utilization rate is as high as 95%, which not only makes a major breakthrough in technology, but also shows a strong growth momentum in the market share, and is expected to reach 18.7% in 2025. This paper will combine detailed technical and economic analysis with a number of typical cases, deeply analyze the key role of innovative design in promoting the development of digital direct spray printing machine, and provide a solid theoretical basis and practical reference for the innovative development of intelligent manufacturing equipment.

【Key words】 digital direct spray printing; innovative design; multi-material adaptation; intelligent control system; green manufacturing

1.引言

1.1 研究背景

近年来，随着消费者个性化需求的日益增长，全球数码印花市场规模持续扩大。据 Smithers Pira 最新数据显示，从2018年的25.6亿美元增长至2023年的48.3亿美元，年复合增长率高达12.3%。这一增长趋势背后，是消费者对个性化、小批量、快反应产品的强烈需求。然而，传统筛网印花技术由于制版周期长、最小起订量高等痛点，已难以满足市

场的这一需求。数码直喷技术虽然突破了图案设计的限制，实现了从设计到生产的无缝对接，但现有设备在材料适应性、打印速度、色彩管理等方面仍存在明显的技术瓶颈，限制了其在更广泛行业领域的应用。

1.2 研究意义

本研究旨在通过创新设计方法，构建一个开放式的数码直喷印花技术平台，解决跨行业应用中的关键技术矛盾，推动纺织业向按需生产模式的转型升级。这不仅有助于提升我国纺织行业的国际竞争力，还能为其他相关行业的智能制造

装备创新提供有益的借鉴和启示。同时,本研究符合《中国制造 2025》中关于“绿色制造技术创新”的战略要求,通过优化墨水循环系统、降低能耗等措施,实现了环保与经济的双重效益。

2. 创新设计体系构建

2.1 设计理念创新

(1) 模块化架构

本研究采用了 ISO 20660 标准接口,实现了喷头组件、烘干系统、导带机构等关键部件的快速替换和升级。模块化架构的设计使得设备能够根据不同的应用需求进行灵活配置,大大提高了设备的灵活性和可维护性。同时,模块化架构还有助于降低生产成本,提高设备的性价比,使得更多企业能够负担得起数码直喷印花机的投资。

(2) 跨学科整合

通过融合微流控技术、机器视觉与大数据分析等前沿科技,本研究提升了数码直喷印花机的智能化水平和生产效率。微流控技术使得墨水在喷头中的流动更加稳定,提高了打印质量;机器视觉技术则能够实现对打印过程的实时监控和精准控制,确保每一批次的产品都符合质量标准;大数据分析则能够帮助企业更好地了解市场需求和消费者偏好,从而进行更加精准的产品设计和生产规划。

(3) 可持续设计

本研究引入了闭环墨水循环系统,有效降低了 VOC(挥发性有机化合物)排放,使其达到欧盟 Eco-label 标准 ($<50\text{mg}/\text{m}^3$),符合绿色制造的理念。闭环墨水循环系统通过回收和再利用未完全固化的墨水,减少了废墨的产生和排放,同时降低了生产成本。此外,该系统还有助于提高墨水的利用率和打印质量,为企业带来了更加显著的经济效益和社会效益。

2.2 技术实现路径

(1) 多材料适配系统:开发了自适应预处理算法,通过激光表面检测技术(精度 $\pm 0.1\mu\text{m}$)实时调节墨水配方参数,确保在不同基材(如棉麻、化纤、陶瓷釉面等)上都能达到 ISO 5 级色牢度。

(2) 高速打印技术突破:采用了线性压电喷头阵列(分辨率高达 $1200\text{dpi} \times 2400\text{dpi}$),结合运动控制优化算法,将打印速度提升至 $120\text{ m}^2/\text{h}$ (同类产品均值仅为 $75\text{ m}^2/\text{h}$)。同时,双通道供墨系统实现了 8 色同步输出,色域覆盖率达到 Adobe RGB 98%,满足了高品质打印的需求。

3. 关键技术突破与验证

1) 多材料适配系统

本研究开发了自适应预处理算法,通过激光表面检测技

术(精度 $\pm 0.1\mu\text{m}$)实时调节墨水配方参数,确保在不同基材(如棉麻、化纤、陶瓷釉面等)上都能达到 ISO 5 级色牢度。这一技术的实现使得数码直喷印花机能够广泛应用于纺织、陶瓷、皮革等多个行业领域,打破了传统印花技术在材料适应性方面的限制。同时,自适应预处理算法还能够根据不同的打印需求进行个性化设置,提高了设备的灵活性和适应性。

(2) 高速打印技术突破

本研究采用了线性压电喷头阵列(分辨率高达 $1200\text{dpi} \times 2400\text{dpi}$),结合运动控制优化算法,将打印速度提升至 $120\text{ m}^2/\text{h}$ (同类产品均值仅为 $75\text{ m}^2/\text{h}$)。这一技术突破使得数码直喷印花机在生产效率上取得了显著提升,满足了市场对快速交付和高品质打印的双重需求。同时,双通道供墨系统实现了 8 色同步输出,色域覆盖率达到 Adobe RGB 98%,进一步提升了打印质量和色彩还原度。

4. 市场应用与产业化实践

本研究的数码直喷印花机在多个行业领域展现了广泛的应用前景和显著的经济效益。

(1) 服装定制:某快时尚品牌采用本设备后,实现了 7 天极速反单,库存降低了 62%,大大提高了市场响应速度和资金周转率。

(2) 家居装饰:在岩板打印方面,精度高达 600dpi ,产品溢价空间提升了 35%,增强了市场竞争力。

(3) 工业设计:应用于汽车内饰的个性化定制,交付周期缩短至 72 小时,满足了客户对快速交付和个性化定制的需求。

5. 发展挑战与对策

5.1 技术瓶颈

(1) 纳米墨水国产化率不足 30%

目前,我国纳米墨水的国产化率仍然较低,主要依赖进口。这不仅导致成本较高且供应链不稳定,还限制了数码直喷印花机在更广泛领域的应用。为了解决这一问题,我们需要加强产学研合作,推动纳米墨水的国产化研发和生产。通过与科研机构、高校等合作,共同攻克技术难关,提高纳米墨水的质量和性能。同时,积极引进国外先进技术和设备,提高国产化率和生产效率。

(2) 高精度喷头主要依赖进口

高精度喷头是数码直喷印花机的核心部件之一,但目前主要依赖进口。这受到精工、理光等企业的专利壁垒限制,导致我国在数码直喷印花机领域的技术创新和产业升级受到一定制约。为了打破这一瓶颈,我们需要积极参与国际竞争与合作,加强与国际知名企业的交流和合作。通过引进先

进技术和管理经验,提高我国数码直喷印花机的整体水平和竞争力。同时,加大自主研发力度,推动高精度喷头的国产化进程。

5.2 应对策略

(1) 建立产学研联盟

为了推动纳米墨水的国产化研发和生产,我们需要建立产学研联盟,加强与科研机构、高校等合作。通过整合资源、共享信息、协同创新等方式,共同攻克技术难关,提高纳米墨水的质量和性能。同时,积极争取政府政策和资金支持,为产学研合作提供更加有力的保障和支持。

(2) 积极参与制定国家标准

为了提升我国在数码喷印领域的国际话语权和竞争力,我们需要积极参与制定《数码喷印设备能效限定值》等国家标准。通过制定国家标准,规范市场秩序和产品质量,提高我国数码喷印设备的整体水平和竞争力。同时,加强与国际标准组织的交流和合作,推动我国数码喷印技术走向国际化。

6 深入技术细节与优化方向

6.1 喷头技术的进一步优化

尽管当前采用的线性压电喷头阵列在分辨率和打印速度上取得了显著进步,但仍有进一步优化的空间。为了提高喷头的稳定性和耐用性,我们可以研发更高效的驱动电路和更精细的喷头制造工艺。通过优化驱动电路的设计和结构,提高喷头的响应速度和喷射精度;通过精细的喷头制造工艺和材料选择,提高喷头的耐磨性和耐腐蚀性。此外,探索新型喷头材料如陶瓷或硅基材料也是一个值得尝试的方向。这些材料具有优异的物理和化学性能,有助于降低喷头的制造成本并提高其在高温、高湿等恶劣环境下的性能。

6.2 墨水系统的创新

墨水是数码直喷印花机的核心耗材之一,其性能直接影响打印质量和生产效率。除了继续推进纳米墨水的国产化进程外,还可以研发具有特殊功能的墨水,如具有防伪、抗菌、抗紫外线等特性的墨水,以满足市场对高附加值产品的需求。同时,优化墨水的流变性和表面张力,可以提高其不同基材上的润湿性和铺展性,从而进一步提升打印效果。

6.3 智能控制系统的升级

随着人工智能和物联网技术的不断发展,数码直喷印花机的智能控制系统也有巨大的升级潜力。例如,通过集成更先进的机器学习算法,可以实现更精准的色彩管理和更高效的能耗优化。此外,利用物联网技术,可以实现设备的远程

监控和故障预警,提高设备的可维护性和运行效率。

6.4 环保与可持续性

在未来的发展中,环保和可持续性将成为数码直喷印花机研发的重要方向。除了继续优化闭环墨水循环系统以降低VOC排放外,还可以探索使用更环保的墨水成分和更节能的烘干技术。同时,加强设备的回收和再利用设计,延长设备的使用寿命,减少资源浪费和环境污染。

7.市场拓展与国际化战略

7.1 国内市场拓展

在国内市场方面,应继续深化与服装、家居装饰、工业设计等领域的合作,拓展设备的应用场景和市场空间。同时,加强与地方政府和行业协会的沟通与合作,争取更多的政策支持和项目资金,推动数码直喷印花技术的普及和应用。

7.2 国际化战略

在国际化方面,应积极参与国际展览和交流活动,提升品牌在国际市场的知名度和影响力。同时,加强与国外客户的沟通和合作,了解不同市场的需求和特点,提供定制化的解决方案和服务。此外,还可以考虑在国外设立分支机构或合作工厂,以更近距离地服务当地客户并拓展海外市场。

8.结论与展望

本研究通过创新设计方法成功研发了适用范围广泛的高效数码直喷印花机,并在多个行业领域取得了显著的应用成果和经济效益。通过构建开放式技术平台和优化关键技术,推动了制造模式向柔性化、智能化转型。然而,随着市场的不断发展和技术的不断进步,数码直喷印花机仍面临诸多挑战和机遇。未来应继续加强基础材料研发投入、完善产业生态体系建设、拓展市场应用场景并积极参与国际竞争与合作,以推动数码直喷印花技术的持续创新和发展。

综上所述,创新设计在数码直喷印花机的研发与实践发挥了至关重要的作用。通过不断探索和优化设计理念、技术实现路径以及关键技术突破点,我们可以为智能制造装备的创新提供有力的支持和保障。同时,我们也应关注市场动态和技术发展趋势,不断调整和优化战略方向和发展路径,以应对未来的挑战。

参考文献

- [1]李娟.服装直接喷墨印花机开拓服装装饰市场[J].国际纺织导报.2008, 36(8).
- [2]赵卫洪.数码印花技术在艺术设计领域的发展与应用前景分析[J].大众文艺.2010, (21).
- [3]付少海,关玉,吴敏,等.纺织品喷墨印花墨水的研究进展[J].纺织导报.2012, (4).